

DOI:

К ПЛАТФОРМЕ УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ ИНФРАСТРУКТУРЫ КРУПНОМАСШТАБНОГО РЕГИОНА В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Цыганов В.В.

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная д.65*

bbc@ipu.ru

Аннотация: Предложена теоретико-методологическая платформа стратегического управления развитием инфраструктуры крупномасштабного региона в экстремальных климато-географических условиях. Разработаны такие элементы платформы, как организационные системы и механизмы управления развитием инфраструктуры; методология «затраты-потенциал» решений о разработке месторождений и пространственного развития территорий; имитационная сценарная модель развития транспортной инфраструктуры в процессе эволюции социально-экономической системы региона.

Ключевые слова: пространственное развитие, регион, экстремальный климат, социально-экономическая система, транспорт, энергетика, телекоммуникации, инфраструктура, развитие, управление, проект, программа

1 Введение

Две трети территории России расположены в зоне вечной мерзлоты, в экстремальных климато-географических условиях. Обработывающие производства в этих условиях, за редким исключением, неконкурентоспособны, по сравнению с более теплыми регионами и странами. С другой стороны, эта часть России богата разнообразными природными ресурсами.

1.1 Мегaproект развития Макрорегиона

Развитие Сибири, Дальнего Востока и Арктической зоны России (кратко – Макрорегиона) является одним из приоритетов национальных проектов. Мегaproект «Единая Евразия: Транс-Евразийский пояс развития (ТЕПР) - Интегральная Евразийская транспортная система (ИЕТС)», направленный на развитие Макрорегиона, исходит из системного представления о национальных интересах России, а также реализации консолидирующей российское общество национальной идеи. Монография [1] содержит результаты проведенных Российской академией наук, в рамках этого Мегaproекта, исследований социально-экономических и научно-технологических проблем глубокого комплексного освоения Макрорегиона на период до 2050 года. В основе Мегaproекта лежит развитие транспортной инфраструктуры (ТИ) Макрорегиона на базе создания пространственно-логистических транспортных коридоров между Европой и Азией, с опорой на железнодорожный транспорт и Северный морской путь. Поскольку с реализацией инфраструктурных проектов транспортная сеть будет развиваться, число транспортных коридоров в перспективе будет увеличиваться.

Для комплексного освоения Макрорегиона требуется также обеспечение энергоресурсами его производственных и социальных объектов. Отсюда вытекает основная цель формирования и развития энергетической инфраструктуры (ЭИ) Макрорегиона: обеспечение потребителей необходимыми энергоресурсами в нужных объемах с высокой степенью надежности по приемлемым ценам на рассматриваемую перспективу. Аналогично, основная цель формирования информационно-телекоммуникационной инфраструктуры (ИИ) Макрорегиона - обеспечение пользователей современными информационными и телекоммуникационными услугами [2].

Эти результаты исследований инфраструктурных (транспортных, энергетических, информационных и телекоммуникационных) аспектов глубокого комплексного освоения территории Сибири, Дальнего Востока и Арктики были обобщены в монографии [3]. В её основе лежит объединение и логическое развитие принципов и положений Мегaproекта «Единая Евразия: ТЕПР – ИЕТС». Предложены 3 этапа стратегического развития Сибири, Дальнего Востока и Арктики, а также соответствующие характеристики и показатели перспективной инфраструктуры этого Макрорегиона, в увязке с процессами стратегического планирования и пространственного развития России.

1.2 Управление развитием структуры крупномасштабных систем

Оптимальный подход в долгосрочном централизованном планировании развития северных и восточных регионов страны был предложен в [4]. Теоретические и методологические основы моделирования и централизованного управления развитием такого рода крупномасштабных систем были разработаны коллективом, возглавляемым А.Д. Цвиркуном [5-7]. Методологически, крупномасштабные системы представляют собой развивающиеся системы, содержащие большое число рассредоточенных на значительной территории элементов, с комплексным характером их взаимо-

действия между собой и с внешней средой, и требующие для развития существенных затрат ресурсов и времени. Для развития элементов таких систем характерны длительные сроки. Это обуславливает особую инерционность крупномасштабных систем, что требует долгосрочного прогнозирования и планирования развития их структур.

Под структурой крупномасштабной системы понимается состав её элементов с соответствующими взаимосвязями в динамике их развития и функционирования [5]. Непрерывность развития, выражающаяся в постоянном изменении структуры системы, является важнейшей особенностью крупномасштабной системы. При этом, в процессе развития, расширяется состав её элементов, и усложняются их взаимозависимость.

При управлении развитием крупномасштабной системы требуется взаимосвязанное решение двух групп вопросов. К первой относятся вопросы развития структуры управляемой системы, т.е. определение оптимального состава элементов и их взаимосвязей, ко второй - вопросы выбора иерархии управления и распределения выполняемых функций управления между уровнями и узлами системы [5]. Например, управление развитием структур крупномасштабных топливно-энергетических систем на основе централизованного планирования рассматривалось в работе [7].

Проблема в том, что, при существующей либеральной экономической модели, применять методы централизованного планирования развития Макрорегиона затруднительно, поскольку отсутствуют механизмы побуждения к выполнению планов развития бизнеса, согласованных с государством. Как показывает практика, сегодня даже крупные корпорации часто не выполняют свои обязательства перед государством, ссылаясь на неблагоприятную конъюнктуру и другие обстоятельства [1,3]. Более того, в теории организационного управления показано, что механизмы принуждения агентов рынка к выполнению централизованно назначаемых планов неэффективны в условиях большой неопределенности [8].

С другой стороны, на практике государственные прогнозы и планы развития инфраструктуры могут оказывать косвенное, мотивирующее воздействие на бизнес. Инструментами долгосрочного программно-целевого управления являются государственные программы – системы взаимоувязанных по задачам, срокам осуществления и ресурсам мероприятий, обеспечивающих достижение приоритетов и целей государственной политики в сфере социально-экономического развития и безопасности [9]. С точки зрения теории, для формирования решений игры рыночных агентов, предпочтительных для центра, можно использовать также механизмы централизованного регулирования [8].

Основными проблемами, возникающими при управлении развитием инфраструктуры крупномасштабного региона, являются прогнозирование, формирование целей, проектов, программ и управление их реализацией. В докладе рассматривается проблема формирования теоретической и методологической платформы моделей и методов стратегического управления развитием инфраструктуры крупномасштабного региона, расположенного в экстремальных климато-географических условиях. Поскольку такого рода исследования и разработки носят прикладной характер и нуждаются в содержательной интерпретации, будем иллюстрировать их на примере Макрорегиона.

2 Платформа исследований и разработок инфраструктуры

Для создания платформы исследований и разработок управления развитием инфраструктуры крупномасштабного региона, расположенного в экстремальных климато-географических условиях, необходимо описание целей, теоретических и методологических основ, а также методов системного проектирования такой инфраструктуры.

2.1 Проблемы и стратегические цели

В работе [13] рассмотрены проблемы и долгосрочные цели управления развитием инфраструктуры Макрорегиона на период до 2050г. При прогнозировании необходимо учитывать неопределенность множества факторов, влияющие на инфраструктуру, в том числе большую продолжительность модернизации и строительства ТИ, ЭИ и ИИ, их высокую стоимость, отсутствие единого критерия эффективности, неоднозначность и неточность измерения показателей и локальных критериев, глобальные пределы роста, риски технологических, экономических, внешнеполитических, климатических изменений.

Например, научно-технический прогресс (НТП) несет непредсказуемые риски снижения потребности в углеводородах. Проблемным может стать даже спрос на добываемый в Макрорегионе природный газ (например, уже сегодня избыточную энергию ветра в ФРГ трансформируют, с помощью

гидролиза, в водород, который может заменять природный газ). Конкуренция (например, широкополосный интернет на основе множества спутников Starlink) может радикально снизить потребность в наземной ИИ. Дальнейшая специализация комплексных, инженерно насыщенных ТИ, ЭИ и ИИ потребует инновационных методов их сопряжения. Эти и множество других факторов вносят громадную неопределенность, затрудняющую обоснование стратегических решений по развитию инфраструктуры. Поэтому период долгосрочного её прогнозирования целесообразно ограничить 20-30 годами [4].

Цели развития инфраструктуры Макрорегиона должны отражать стратегические приоритеты и цели государственной политики в сфере социально-экономического развития и безопасности:

- формирование единого пространства на базе сбалансированного опережающего развития эффективной инфраструктуры;
- обеспечение доступности и качества транспортно-логистических, энергетических и информационно-телекоммуникационных услуг на уровне потребностей экономики и обороноспособности;
- обеспечение доступности и качества услуг инфраструктуры для населения в соответствии с социальными стандартами;
- интеграция в национальную и мировую инфраструктуру, обеспечение транзитного потенциала;
- повышение уровня безопасности инфраструктуры;
- снижение негативного воздействия инфраструктуры на окружающую среду.

2.2 Теоретические и методологические основы

Основу исследований и разработок управления развитием инфраструктуры крупномасштабного региона, расположенного в экстремальных климато-географических условиях, составляют теории:

- управления развитием структур крупномасштабных систем [5-7] (см. п.1.2);
- управления организационными системами [8];
- адаптивного управления эволюцией организации [11];
- больших транспортных систем [12].

Обзор состояния теории больших транспортных систем по состоянию на 2016г. дан в монографии [12]. Эта теория основана на методологии системных исследований – от изучения природы развивающихся и трансформирующихся больших транспортных систем, их свойств и тенденций развития, к осознанию возникающих проблем, формулировке их содержания, построению моделей, формализации задач, и далее к разработке методов, процедур, алгоритмов и программ их решения, формированию соответствующих выводов и рекомендаций.

Системно-технологические исследования больших транспортных систем направлены на формирование научно обоснованного видения необходимой трансформации технологической структуры транспорта, обеспечивающей его устойчивое развитие в стратегической перспективе. Для этого решаются задачи, связанные с оценкой влияния НТП на развитие видов транспорта, и обеспеченные формализованными и успешно применяемыми подходами и инструментарием. Необходимость дальнейшего совершенствования этих подходов и инструментария диктуется изменениями внешних условий, появлением новых классов технологий и др.

Практическую основу исследований и разработок управления развитием инфраструктуры крупномасштабного региона, расположенного в экстремальных климато-географических условиях, составляет опыт её разработчиков - членов подгруппы «Инфраструктура» Мегапроекта «ТЕПР – ИЕТС» [1]. Этот опыт накоплен в процессе разработки и экспертизы больших транспортных, энергетических и информационно-телекоммуникационных систем в Макрорегионе, России и мире. На этой фундаментальной и практической основе разработаны базовые положения инфраструктурной политики Мегапроекта «ТЕПР – ИЕТС» [2]. Обзор работ по управлению развитием инфраструктуры Макрорегиона, выполненных до 2020г., дан в монографии [3].

2.3 Методы системного проектирования

В работе [13] рассмотрены теоретические и методологические основы системного подхода к проектированию структур и механизмов управления развитием инфраструктуры Макрорегиона. Проблемы такого системного проектирования обусловлены рисками НТП, необходимостью компромиссов в условиях конкуренции и сопряжения все более специализированных, комплексных, инженерно насыщенных ТИ, ЭИ и ИИ (п.2.1). Для решения этих проблем полезны междисциплинарные подходы и инструменты, разработанные в системотехнике и её современном аналоге - системном инжиниринге на основе моделей (Model Based System Engineering - MBSE) [14].

Концептуально, системотехника и MBSE предполагают формализованное применение моделирования для обеспечения действий по удовлетворению требований, проектированию, анализу, верификации и валидации в течение всех фаз жизненного цикла проектируемой инфраструктуры. Для этого требуется создать и развивать комплекс взаимосвязанных моделей, которые используются для разработки и проектирования развитием инфраструктуры, а также системы управления ею. Такой комплекс является эффективным средством изучения ТИ, ЭИ и ИИ, представления информации о них заинтересованным сторонам и поддержки принятия решений. При этом значительно сокращается или устраняется зависимость лиц, принимающих решения, от использования традиционной и часто устаревшей информации и документации.

При проектировании инфраструктуры крупномасштабного региона используются агрегированные иерархические схемы представлений ТИ, ЭИ и ИИ, с разной степенью детализации на каждом уровне. Архитектура каждой такой схемы строится на основе системного подхода, и включает соответствующие онтологии и математические модели. На её основе осуществляется комплексирование механизмов функционирования ТИ, ЭИ и ИИ.

На верхних уровнях модели инфраструктуры региона используются онтологии, когнитивные карты, описания сценариев и другие дескриптивные и формально-логические модели, базирующиеся как на качественной, так и на количественной информации. На нижележащих уровнях модели инфраструктуры используются преимущественно математические модели объектов и процессов разной степени детализации.

Чем ниже уровень, тем детальнее математические описания моделей, и тем больше количественной информации они используют. В частности, на нижних уровнях моделирования инфраструктуры крупномасштабного региона, можно использовать математические модели объектов и процессов, разработанные в [3-8,10]. Например, применительно к топливно-энергетическим системам, используют: глобальные модели, охватывающие мировую энергетику в целом на период более 20 лет; модели топливно-энергетического комплекса отдельных стран, имеющие горизонт прогнозирования (планирования) до 20 лет; модели планирования развития структур отдельных отраслей, комплексов и регионов, обычно на период от 5 до 15 лет [7].

Другой пример - системное проектирование железнодорожной инфраструктуры в масштабах страны на основе математических моделей оптимизации структуры регионального управления движением, инфраструктурой и железнодорожными перевозками, выполненное по заказу ОАО «Российские железные дороги» [15]. При этом решались задачи, во-первых, развития структуры железных дорог страны (в том числе определение оптимального состава их элементов и их взаимосвязей), а во-вторых - выбора иерархии управления и распределения выполняемых функций управления между уровнями и узлами иерархической системы управления железными дорогами. Для этого были разработаны подходы, модели и методы алгоритмической поддержки решений задач разбиения крупномасштабных сетей на полигоны управления, согласования границ этих разбиений, синтеза механизмов стимулирования. В результате, была разработана согласованная системы управления региональным развитием железнодорожной инфраструктуры в масштабах страны. Результаты проведенных при этом исследований и многовариантных расчетов использовались при разработке железнодорожной инфраструктуры Макрорегиона в рамках Мегапроекта ТЕПР-ИЕТС [1,3]. В основу предлагаемого подхода к системному проектированию инфраструктуры крупномасштабного региона положено относительно небольшое число базовых моделей, наглядных и удобных для практического использования. В работе [2] был охарактеризован ряд таких моделей, разработанных на общей платформе исследований и разработок управления развитием инфраструктуры Макрорегиона:

- сетцентричные модели транспортной инфраструктуры;
- теоретико-игровые модели оптимизации транспортных коридоров;
- модели оптимизации структур транспортных, энергетических и информационно-телекоммуникационных сетей, а также систем их безопасности;
- модели мультимодальных интеллектуальных транспортных систем;
- модели оптимизации разработки и экспертизы (технологического аудита) крупномасштабных проектов развития транспортной инфраструктуры;
- модели управления инновациями в области энергоэффективности.

Библиографические ссылки на публикации, содержащие детальные описания этих моделей, а также и использование на протяжении жизненного цикла инфраструктуры крупномасштабных регионов, даны в монографии [3].

Комбинации этих моделей позволяют решать более сложные задачи развития инфраструктуры крупномасштабных регионов. Например, сетцентричная модель ТИ легла в основу концепции

сетевидной транспортной политики Евразийского экономического союза [12]. А комбинация сетевидной модели ТИ южной части Макрорегиона (в которой в роли центра выступает железная дорога, включающая Транссибирскую и Байкало-Амурскую магистрали), с сетевидной моделью транспортной инфраструктуры севера Макрорегиона (в которой роль центра играет Северный морской путь) привела к биполярной модели инфраструктуры Макрорегиона. Исходя из такой биполярной модели пространственного развития, особое значение при системном проектировании инфраструктуры Макрорегиона было уделено транспортным, энергетическим и информационно-телекоммуникационным структурам и сетям, связывающим южный полюс инфраструктуры (железнодорожный комплекс, включающий Транссиб и БАМ) с северным её полюсом (Севморпутем) [1,3].

Вышеуказанные работы составили теоретический и методологический фундамент исследования и разработки платформы управления развитием инфраструктуры Макрорегиона. Рассмотрим другие направления теоретических и методологических работ по созданию базовых моделей, наглядных и удобных для практического использования на этой платформе.

3 Организационные системы и механизмы управления развитием инфраструктуры

Для достижения указанных в п.2.1 целей государственной политики в сфере социально-экономического развития и безопасности Макрорегиона, необходимо регулярно решать комплексы задач, связанных с отбором приоритетных проектов развития инфраструктуры, последующей разработкой государственных и региональных стратегий и программ их реализации, а также организационных структур и механизмов управления такой реализацией.

Упомянутые цели (и, соответственно, их проекция на развитие инфраструктуры) в п.2.1 сформулированы в достаточно общем виде. Чтобы сделать эти цели конкретными, измеримыми и достижимыми за требуемое время, необходимо уточнить и детализировать их. Нужно также предварительно определить множество потенциально перспективных (приоритетных) проектов развития инфраструктуры, которые, в принципе, могли бы обеспечить достижение этих целей. Например, описание и предварительный анализ множества возможных проектов развития инфраструктуры Макрорегиона дан в монографии [3]. Там же приведены примеры технологии отбора приоритетных проектов.

Рассмотрим развитие этой технологии на основе анализа и декомпозиции сформулированных в п.2.1 стратегических целей. Выделим основные этапы, задачи и технологии отбора проектов и формирования системы управления развитием инфраструктуры [16].

На первом этапе, на основе анализа и экспертных оценок приоритетных проектов создания и модернизации инфраструктуры, определяется набор наиболее перспективных проектов. При этом необходимо учитывать основные направления социально-экономического развития страны и её обороноспособности, национальные проекты, государственные программы развития, прогнозы размещения производительных сил бизнеса, темпы и основные направления НТП, возможности обеспечивающих отраслей, результаты геофизических исследований и геологической разведки, возможные экологические и социально-экономические последствия решений и др.

Далее эти проекты ранжируются по методике комплексного оценивания [17]. Соответствующая структура комплексного оценивания основана на дереве целей, вершинами которого являются стратегические цели (п.2.1). Формально, такая сетевая структура комплексной оценки изоморфна дереву целей развития инфраструктуры. По сути, эта структура подобна когнитивной карте без обратных связей. Реализация этого этапа проиллюстрирована на примерах комплексного оценивания проектов развития инфраструктуры Макрорегиона [1,3].

На втором этапе проводится оценка требуемых инвестиций и сроков реализации каждого из отобранных проектов. С учетом оценки ожидаемых эффектов от реализации этих проектов и необходимых затрат на инвестиции, проводится их ранжирование по эффективности, рассчитываемой как отношение ожидаемого эффекта к затратам. При этом число проектов, рекомендуемых к реализации, может быть уменьшено из-за ограниченности суммарных инвестиций. По сути, используется метод «затраты – эффект», применительно к отбору проектов развития инфраструктуры. На этом этапе, для оценки эффекта и требуемых инвестиций для отобранных на предыдущем этапе проектов, проводятся прогнозные расчеты потоков наличности (кэш-фло).

На третьем этапе разрабатываются развернутые программы реализации отобранных проектов, и осуществляется их увязка с государственными программами долгосрочного и среднесрочного программно-целевого управления на основе бюджетирования, ориентированного на результат (БОР) –

долгосрочными целевыми программами (ДЦП), федеральными целевыми программами (ФЦП) и ведомственными целевыми программами (ВЦП).

На четвертом этапе формируются сетевые структуры работ, направленных на реализацию проектов, а также организационные системы управления их реализацией. Проектируются также организационные структуры и механизмы управления функционированием созданных объектов и процессов инфраструктуры в течение их жизненного цикла.

Например, в работе [18] предложен комплекс моделей организационных механизмов отбора проектов для улучшения конфигурации инфраструктуры, отвечающей целям ее развития при имеющихся ограничениях на инвестиции. Предложены технологии децентрализации разработки, обслуживания и функционирования инфраструктуры. В духе концепции системного проектирования на основе моделей (MBSE), разработана архитектура, в которой интегрированы соответствующие онтологии и математические модели планирования, распределения ресурсов и стимулирования.

4 Методология «затраты-потенциал»

Суть методологии «затраты – потенциал» состоит в отборе проектов развития инфраструктуры на основе их потенциальной будущей эффективности для социально-экономического развития территории или для конкретного бизнеса в экстремальных климато-географических условиях.

4.1 Бизнес-потенциал месторождения полезных ископаемых

В зоне вечной мерзлоты находятся крупные месторождения полезных ископаемых, которые могут стать источником высококачественного сырья и топлива. Однако их освоение невозможно без соответствующей инфраструктуры. В условиях централизованной экономики, для её формирования, использовались методы оптимального планирования [4-7].

В условиях либеральной рыночной экономики, основой для определения целесообразности создания и развития такого рода инфраструктуры традиционно считались бизнес-планы и финансовые модели добывающих производств крупных корпораций на указанных месторождениях. Соответственно, технико-экономические обоснования и решения о развитии инфраструктуры основывались на оценках экономической эффективности добычи и реализации полезных ископаемых на рынке, содержащихся в этих бизнес-планах и финансовых моделях.

Однако практика последних лет показала, что такие бизнес-планы и финансовые модели стремительно устаревают, вследствие быстрых изменений конъюнктуры, глобальных пределов роста и обострения конкурентной борьбы на мировых рынках, всевозможных санкций и т.п. (п.2.1). В результате, реализация проектов развития инфраструктуры ряда крупных месторождений полезных ископаемых в Макрорегионе не привела к ожидаемым результатам [1,3]. В связи с этим, возникла проблема методологического обоснования целесообразности создания и развития инфраструктуры месторождений полезных ископаемых, находящихся в экстремальных климато-географических условиях, с учетом быстрых изменений.

В условиях рыночной экономики, решающую роль в освоении этих месторождений призваны играть крупные корпорации. Поэтому необходимо прогнозировать их поведение в условиях громадной неопределенности (п.2.1). В будущем, преимущество получают интеллектуальные предприятия и основанные на них адаптивные корпорации [11]. Соответственно, бизнес будущего будет тем более успешен, чем выше его способность к адаптации. Рассмотрим концепцию обоснования целесообразности создания и развития инфраструктуры месторождений полезных ископаемых в экстремальных климато-географических условиях на основе принципа адаптации бизнеса: инфраструктуру развивают так, чтобы с её помощью бизнес мог адаптироваться к изменениям, и прогрессировать в будущем.

Исходя из этого, для оценки перспектив бизнеса, связанного с освоением конкретного месторождения, нужно использовать имеющиеся статистические данные, а также знания об этом месторождении, его полезных ископаемых, необходимых производственных процессах и объектах, перспективах рынков и др. На их основе формируется гибридная экспертно-статистическая финансовая модель будущего бизнеса, связанного с освоением и эксплуатацией этого месторождения. В ней используются упомянутые количественные и качественные данные, полученные экспертно-статистическим путем. На их основе требуется сформировать комплексную оценку перспективности бизнеса, связанного с освоением данного месторождения. Иными словами, нужна комплексная оценка будущей полезности данного месторождения для бизнеса (кратко – оценка бизнес-потенциала). Структура этой оценки изоморфна дереву целей бизнеса (п.3).

Для комплексной оценки бизнес-потенциала используются, во-первых, статистические данные о количественных характеристиках месторождения и качестве его полезных ископаемых. К количественным характеристикам относятся объем разведанных запасов, его удельные веса в общих объемах разведанных российских и мировых запасов соответствующих полезных ископаемых, глубина их залегания и др. Эти данные можно получить в процессе бенчмаркинга месторождения.

К показателям качества ископаемых относятся физические характеристики их рыночной полезности, в соотношении с лучшими характеристиками полезности аналогичных российских и мировых ископаемых и др. Эти данные можно получить в процессе бенчмаркинга полезности ископаемых. С помощью указанных характеристик, можно сформировать порядковые (ранговые) шкалы полезности ископаемых. Например, высший ранг полезности присваивается в случае, если характеристики полезности ископаемых лучше мировых. Первый ранг полезности присваивается в случае, если такие характеристики соответствуют мировым аналогам. Второй ранг полезности присваивается, если характеристики полезности ископаемых ниже мировых, но соответствуют аналогичным российским ископаемым. Третий ранг полезности присваивается, если полезность ископаемых уступает российским аналогам.

После формирования комплексной экспертно-статистической оценки бизнес-потенциала месторождения, может быть задана цель, определяющая требуемый уровень этой оценки. Затем можно выработать управляющие воздействия, обеспечивающие достижение целевого уровня.

При ограниченности инвестиционных ресурсов, задача развития инфраструктуры формулируется как задача выбора проектов такого развития, максимизирующих их общий (например, суммарный) бизнес-потенциал. Для этого проводятся комплексные экспертно-статистические оценки затрат перспективных проектов создания инфраструктуры месторождения полезных ископаемых, исходя из норм, нормативов и лучших практик. Соотношение комплексной оценки бизнес-потенциала и затрат на создание инфраструктуры месторождения полезных ископаемых характеризует потенциальную эффективность соответствующего проекта развития инфраструктуры. Затем проводится ранжирование указанных перспективных проектов на основе их потенциальной эффективности (подобно тому, как это делается на втором этапе отбора проектов в п.3). В этом суть метода «затраты – потенциал».

Формально, метод «затраты – потенциал» подобен методу «затраты-эффект» (п.3). Методология его применения для обоснования целесообразности создания и развития инфраструктуры месторождений полезных ископаемых в экстремальных климато-географических условиях была апробирована при долгосрочном прогнозировании развития ТИ, ЭИ и ИИ Макрорегиона в рамках Мегапроекта «ТЕПР-ИЕТС» [1,3].

Заметим, что при отборе инфраструктурных проектов методом «затраты – потенциал» требуется учет и обработка статистических данных и мнений экспертов. Следовательно, необходима достаточно надежная информационная база для формирования и поддержки гибридных экспертно-статистических моделей бизнес-потенциалов и проектов. Кроме того, необходимо сформировать эффективную процедуру их оценки с учетом мнений экспертов. Для решения этих задач могут быть использованы подходы, методы, процедуры и алгоритмы экспертизы проектов развития ТИ Макрорегиона, развитые в теории больших транспортных систем и апробированные, в частности, в процессе технологического и ценового аудита крупномасштабного проекта модернизации Байкало-Амурской магистрали [12].

4.2 Пространственное развитие территорий

Метод «затраты – потенциал» может быть также использован для обоснования стратегии пространственного развития крупномасштабного региона, расположенного в экстремальных климато-географических условиях. В Стратегии научно-технологического развития РФ, в качестве одного из основных вызовов, определена «необходимость эффективного освоения и использования пространства, в том числе путем преодоления диспропорций в социально-экономическом развитии территории страны...» [19]. Обозначен приоритет научно-технологического развития РФ, который обеспечит «связанность территории РФ за счет создания интеллектуальных транспортных и телекоммуникационных систем, а также транспортно-логистических систем...». В значительной степени эти положения относятся к развитию ТИ, ЭИ и ИИ.

В работе [20] проанализированы роль и значение инфраструктуры для пространственного развития крупномасштабного региона. Рассмотрены проблемы, цели и задачи создания и модернизации инфраструктуры, нацеленной на пространственное развитие, в увязке со стратегическим планированием. При решении этих задач также используется метод «затраты – потенциал». Суть его, при создании и модернизации инфраструктуры с целью пространственного развития крупномасштабного региона, расположенного в экстремальных климато-географических условиях,

заключается в отборе инфраструктурных проектов на основе их потенциальной будущей эффективности для социально-экономического развития тех или иных территорий (а не бизнесов по добыче полезных ископаемых, как в п.4.1). При этом под термином «потенциал» понимается социально-экономический потенциал эффективного освоения и использования конкретной территории крупномасштабного региона. Этот потенциал зависит как от экономической, так и от социальной полезности освоения и использования данной территории.

Под термином же «затраты» понимаются средства на соответствующие инвестиции в инфраструктуру. Эти средства зависят от состояния ТИ, ЭИ и ИИ не только на данной территории, но и на сопредельных территориях. Например, состояние ТИ территории описывают соответствующие транспортные показатели пространственного развития [21]. Эти показатели характеризуют транспортную обеспеченность населения и экономики территории. В работе [21] определены частные, комплексные и внутривидовые транспортные показатели обеспеченности пространственного развития территории. В работе [22] предложен принцип равной транспортной обеспеченности территорий, подобный принципу равнотерпимости [12]. Этот принцип отражает условия равной доступности населения и субъектов экономики к транспортным услугам, и нацелен на ликвидацию транспортной дискриминации территорий путем пространственного развития. Введен коэффициент сбалансированности, соответствующий принципу равной транспортной обеспеченности. На основе статистических данных, проведены расчеты транспортных показателей пространственного развития территорий Макрорегиона и соответствующих коэффициентов сбалансированности. Результаты этих расчетов использовались для оценки и планирования пространственного развития Макрорегиона [1,3].

Разные условия территорий Макрорегиона требуют разнообразия видов транспорта. В работе [23] охарактеризованы роль и значение для пространственного развития мультимодальных транспортных систем, интегрирующих разные виды транспорта на базе единых стандартов управления, планирования и функционирования. При этом возникает проблема интеграции инфраструктуры железнодорожного, автомобильного, воздушного, морского и речного транспорта. Для её решения необходима сеть мультимодальных терминально-логистических центров (ТЛЦ). В рамках Мегапроекта ТЕПР-ИЕТС, возникла задача оптимизации числа ТЛЦ и их размещения [18]. Для её решения были использованы подходы, модели и методы алгоритмической поддержки разбиения крупномасштабных транспортных сетей на полигоны, определение их центров и согласования границ разбиений [15]. Результаты этих расчетов были использованы для разработки прогнозов числа ТЛЦ и мест их размещения в ТИ Макрорегиона [1,3].

5 Моделирование транспортной инфраструктуры социально-экономической системы

Опыт исследований, проводимых в Институте проблем управления в области синтеза и планирования развития структур крупномасштабных систем, показывает, что наиболее эффективно совместное использование оптимизационных и имитационных моделей [7]. С другой стороны, оценить качество планирования и последствия принимаемых решений позволяет сценарное моделирование. Соответственно, решения по созданию и модернизации ТИ могут быть выработаны на основе имитационного сценарного моделирования функционирования транспортного комплекса в крупномасштабной социально-экономической системе Макрорегиона.

В основе такого моделирования лежит математическая модель развития транспортного комплекса в процессе эволюции крупномасштабной социально-экономической системы, частью которой он является [24]. Эта модель включает набор укрупненных показателей состояния системы, а также их зависимостей. Формально структуру модели можно представить в виде сети, вершинами которой являются указанные показатели, а ребра отражают их взаимное влияние.

Модель имеет иерархическую структуру. Её верхний уровень образуют взаимозависимые крупные блоки «Население», «Производство», «Рынок», «Финансы», «Бюджет» и «Транспорт». На нижележащих уровнях модели эти блоки последовательно декомпозируются на более мелкие. В частности, блок «Транспорт» содержит 4 подсистемы: ТИ, грузового, пассажирского и личного транспорта. В свою очередь, каждая подсистема декомпозируется соответственно видам транспорта. Например, ТИ делится на блоки инфраструктуры железнодорожного, автомобильного, морского, речного, воздушного транспорта, и т.д.

Основные выходные показатели блока «Население» - доходы населения - формируются на основе выходных данных других блоков. Эти доходы складываются из средств оплаты труда работников производственной, бюджетной и кредитно-финансовой сферы; доходов от предпринимательской деятельности; социальных трансфертов, включающих пенсии и пособия и др. На их основе

формируется платежеспособный спрос на продукцию и услуги отраслей материального производства и транспорта.

Основные выходные показатели блока «Производство» - объемы выпускаемой продукции и оказываемых услуг. Максимальные их размеры определяются величинами основных производственных фондов (ОПФ) и трудовых ресурсов. Динамика ОПФ определяется их выбытием по причине износа, а также прироста за счет инвестиций. Размеры последних рассчитываются на основе выходных данных об инвестиционных возможностях отраслей материального производства и транспорта (которые, в свою очередь, зависят от их финансовых ресурсов, спроса на продукцию и производственных возможностей). Финансовые ресурсы отраслей материального производства и транспорта определяются на основе их доходов (от производственной деятельности, кредитов, доходов от экспорта и импорта, средств государственного бюджета и др.) и расходов (производственных и транспортных затрат, налоговых и иных отчислений в бюджет и др.).

Спрос на продукцию и услуги (в том числе транспортные) определяется платежеспособным спросом населения, предприятий, организаций и государственных учреждений. Предложения на перевозки определяются возможностями ТИ и других транспортных подсистем. Прогнозы объемов отправок грузов и пассажиров, а также грузо- и пассажирооборот рассчитываются на основе данных о спросе и предложении перевозок. Цены на продукцию и услуги отраслей материального производства и транспорта в блоке «Рынок» рассчитываются в зависимости от баланса спроса и предложения, с одной стороны, и среднеотраслевых издержек - с другой.

Модель позволяет поддерживать решение задач развития ТИ крупномасштабной социально-экономической системы на перспективу, в частности:

- определения размеров и структуры спроса на перевозки с использованием разных видов ТИ;
- оценки влияния факторов общеэкономического характера (цен на основные виды продукции, налоговых ставок, курса рубля и др.) и ситуации в отраслях экономики (номенклатура и объемы производства) на показатели эффективности ТИ;
- оценка возможности удовлетворения ТИ спроса на транспортные услуги»;
- оценка влияния состояния ТИ на производительность и доходность секторов экономики;
- оценка перспектив каждого вида ТИ на основе прогноза эволюции системы, динамики отраслей экономики и конкурирующих видов ТИ;
- поддержка принятия решений о развитии разных видов ТИ, инвестиционная и тарифная политика и др.

Компьютерная реализация модели позволяет решать эти задачи путем имитационного сценарного моделирования развития ТИ в процессе эволюции крупномасштабного региона, с последующей оценкой возможных последствий принятия тех или иных решений. Каждый сценарий задается набором значений экзогенных переменных модели. Разработанный подход к созданию системы сценарного моделирования поддерживает иерархическую многомерную инфраструктуру крупномасштабной социально-экономической системы.

Созданный программно-информационный комплекс позволяет проводить многовариантное сценарное моделирование эволюции ТИ крупномасштабной социально-экономической системы с многоотраслевой структурой экономики. Этот комплекс использовался для моделирования эволюции социально-экономической ситуации в стране, прогнозирования ситуации на транспорте и стратегического планирования деятельности ОАО «Российские железные дороги». Опыт эксплуатации позволил выявить его возможности и ограничения. Результаты проведенных многовариантных расчетов использовались при разработке ТИ Макрорегиона в рамках Мегапроекта ТЕПР-ИЕТС [1,3].

6 Клиентоориентированная инфраструктура

В теории больших транспортных систем разработаны и на практике реализованы элементы парадигмы клиентоориентированного развития ТИ [12]. Более общая парадигма клиентоориентированной инфраструктуры направлена на перманентное качественное соответствие её услуг растущим требованиям потребителей [3]. Проиллюстрируем применение этой парадигмы на примере ЭИ, как подсистемы инфраструктуры Макрорегиона с многочисленными внутренними и внешними связями с секторами экономики, социальной сферой и внешней средой.

Агрегированными элементами ЭИ являются: инфраструктура добывающих отраслей (газовой, нефтяной, угольной) и геологоразведки (обеспечивающей прирост запасов топливно-энергетических ресурсов); инфраструктура электро-энергетической и теплообразующей отрасли (включая инфраструктуру атомной энергетики); инфраструктура других отраслей, потребляющих энергию и топливно-энергетические

ресурсы, а также экспорта и импорта энергии. Необходимо учитывать, что эти элементы ЭИ располагаются на территориях с разными условиями производства и потребления, и соответствующими трудовыми, ресурсными, экологическими и иными требованиями. Это вызывает необходимость разработки единых принципов формирования проектов развития агрегированных элементов ЭИ, а также согласованной системы моделей и методов оптимального проектирования ЭИ.

В последние годы, в связи с некомпенсируемым старением ЭИ, обострилась проблема обеспечения достаточного, бесперебойного и экономически доступного энергоснабжения. Существенно изменились и выросли запросы к ЭИ. Эта тенденция связана с массовым появлением у потребителей инновационных технологий с повышенными требованиями к качеству энергии и надежности энергоснабжения. Для обеспечения клиентоориентированности, необходима смена направлений развития и функционирования ЭИ в пользу предоставления потребителям энергии и услуг в нужном месте, с требуемой надежностью и качеством, по приемлемой цене. Для этого необходима последовательная взаимоувязка результатов прогнозирования и разработки проектов развития ЭИ.

Клиентоориентированность ЭИ особенно актуальна для Макрорегиона. Здесь располагаются весьма специфические потребители энергоресурсов – газовые и нефтяные промыслы, объекты добычи и переработки других полезных ископаемых (в т.ч. драгоценных и цветных металлов), магистральные газо- и нефтепроводы, объекты социальной инфраструктуры. Такие объекты, как правило, расположены в экстремальных природно-климатических условиях. Находясь вне зоны действия технологически связанных, пространственно-распределенных подсистем ЭИ, зачастую эти объекты требуют создания автономных систем топливо- и энергоснабжения. В связи с этим особенно важно изучение закономерностей развития распределенной генерации энергии на базе малых энергетических установок, в т.ч. на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ), её роли и места в энергоснабжении потребителей, влияния на структуру и свойства систем энергетики.

Например, клиентоориентированная ЭИ Макрорегиона должна обеспечивать снабжение потребителей электроэнергией и теплом за счет: создания оборудования и строительства небольших ТЭЦ с парогазовыми и газотурбинными установками электрической мощностью блоков в 15-25 МВт и теплофикационной – в 20-30 Гкал/ч; завершения строящихся и намечаемых к строительству ГЭС, с последующей переориентацией на строительство средних и малых ГЭС прогрессивных конструкций (бесплотинных, наплавных и т.п.); использования ВИЭ в размерах, необходимых для надежного электроснабжения потребителей в природоохранных зонах, в северных отдаленных и изолированных районах; использования безопасных конверсионных средних и малых установок атомной энергетики с приемлемыми технико-экономическими показателями.

Оптимизация программы развития ЭИ предполагает совместную оптимизацию инфраструктуры газовой, нефтяной, угольной и электроэнергетической отраслей. Для взаимоувязки проектов и оценки программ развития отраслей и комплексов ЭИ на межотраслевом и межрегиональном уровнях, в систему моделей оптимизации развития ЭИ необходимо включать модели их анализа и согласования. На этой основе должна разрабатываться производственно-технологическая структура и генеральная схема развития ЭИ. Для развития и интеграции ЭИ с ТИ и ИИ необходимо обеспечить:

- оптимальное управление функционированием и развитием ЭИ, как подсистемы инфраструктуры Макрорегиона;
- решение межотраслевых комплексных задач ЭИ, касающихся пропорций развития её отраслей, сопоставления перспективных энергетических технологий, маневренности, надежности и качества топливо- и энергоснабжения;
- долгосрочное прогнозирование и разработку целевых программ модернизации и создания технологий, средств и объектов ЭИ;
- разработку методического аппарата, моделей и методов выбора решений на основе рационального сочетания рыночных механизмов и государственного регулирования в условиях растущей неопределенности условий функционирования и развития ЭИ Макрорегиона.

Интеграция ЭИ с ТИ и ИИ требует широкого использования системного проектирования на базе моделей новых технологий. Однако обоснование приоритетных направлений НТП в энергетике осложняется существенно меньшей теоретико-методологической проработанностью и ограниченностью применения формализованных подходов. Поэтому для развития и интеграции ЭИ в инфраструктуру Макрорегиона необходимы перманентные системные исследования тенденций эволюции ЭИ, осознание возникающих проблем, формулировка их содержания, построение моделей, формализация задач, разработка методов, процедур, алгоритмов и технологий их решения, формирование выводов и рекомендаций. Необходимо обеспечить лиц, принимающих решения,

эффективными формализованными подходами и инструментарием системного проектирования ЭИ на базе моделей (п.2.3).

Системно-технологические исследования ЭИ должны быть направлены на формирование научно обоснованного видения необходимой трансформации технологических процессов, обеспечивающей устойчивое развитие в стратегической перспективе. Для этого нужно постоянно оценивать влияние НТП на развитие ЭИ. Формирование, оценка перспектив и развитие ЭИ Макрорегиона требует учета не только результатов, но и перспектив исследований и разработок в сфере развития энерготехнологий. Такие технологии востребованы для повышения эффективности производства электрической и тепловой энергии, разработки месторождений ископаемого топлива с нетрадиционными ресурсами (взамен истощаемых традиционных), повышения качества топлива, снижения негативного воздействия энергетики на окружающую среду и др. Значимость правильного выбора энерготехнологий особенно важна для специфических потребителей энергоресурсов, располагающихся в Макрорегионе. При этом обязательно построение моделей критических технологий ЭИ (оборудования и систем управления), требующих особого внимания.

Подобное системное проектирование на базе моделей должно применяться и в сфере ИИ [25]. Для эффективной интеграции ИИ в инфраструктуру Макрорегиона требуются модели: передачи информации на основе широкополосных линий и оптических каналов по технологии 5G; интеллектуализации телекоммуникационных сетей; адаптации к росту числа и мобильности пользователей в связи с удешевлением и миниатюризацией конечных средств и широким применением техники беспроводной связи. Воздействие на развитие ИИ оказывают: оптические технологии, обеспечивающие увеличение скорости, удешевление доступа к сети и увеличение числа пользователей; широкополосные каналы, позволяющие одновременно передавать разнородную информацию (и, как следствие, повышающие быстродействие сети); технологии мультиплексирования и коммутации; методы кодирования и сжатия информации; коммутируемые локальные вычислительные сети; универсальный доступ к услугам Интернета.

Заключение

Для стратегического управления развитием инфраструктуры крупномасштабного региона был создан задел фундаментальных исследований и прикладных разработок, сетевые модели инфраструктуры, модели оптимизации транспортных коридоров, инфраструктурных сетей и систем их безопасности, мультимодальных интеллектуальных транспортных систем, разработки и экспертизы крупномасштабных проектов и управления инновациями.

Предложено объединить, с помощью системотехники, эти и подобные разработки на единой теоретической и методологической платформе стратегического управления развитием инфраструктуры крупномасштабного региона в экстремальных климато-географических условиях. Для этого предлагается использовать современный инструментарий системотехники - системный инжиниринг на основе моделей (Model Based System Engineering).

В данной работе исследованы и разработаны следующие элементы указанной платформы:

- организационные системы и механизмы управления развитием инфраструктуры;
- методология «затраты-потенциал» для определения целесообразности разработки месторождений полезных ископаемых и пространственного развития территорий крупномасштабного региона в экстремальных климато-географических условиях;
- имитационная сценарная модель развития ТИ в процессе эволюции крупномасштабной социально-экономической системы, и соответствующий программно-информационный комплекс;
- концепция клиентоориентированной инфраструктуры.

Создан соответствующий задел разработок моделей, методов и методик, алгоритмов и программ.

Результаты выполненных на указанной платформе вышеупомянутых фундаментальных исследований и прикладных разработок, моделей и методов были апробированы при проектировании транспортной, энергетической и информационно-телекоммуникационной инфраструктуры Сибири, Дальнего Востока и Арктической зоны России в рамках Мегапроекта «Единая Евразия: Транс-Евразийский пояс развития - Интегральная Евразийская транспортная система».

Для дальнейшего развития теоретической и методологической платформы управления инфраструктурой крупномасштабного региона в экстремальных климато-географических условиях (в частности, регионов Сибири, Дальнего Востока и Арктической зоны России) необходимо перманентное проведение циклов «фундаментальные исследования - прикладные разработки - методы и методики – алгоритмы – программы – внедрение».

Литература

1. Комплексное освоение территории Российской Федерации на основе транспортных пространственно-логистических коридоров. Актуальные проблемы реализации мегапроекта «Единая Евразия: ТЕПР – ИЕТС» / под ред. В.В. Козлова и А.А. Макоско. – М.: Наука. 2019. – 463с.
1. *Цыганов В.В.* Инфраструктурная политика Мегапроекта «Единая Евразия: ТЕПР - ИЕТС» // Информационные технологии в науке, образовании и управлении (ИТНОУ). № 2 (12). 2019. С.58-62.
2. Инфраструктура Сибири, Дальнего Востока и Арктики. Состояние и 3 этапа развития до 2050 года / под ред. А.А. Макоско. – СПб.: ИПТ РАН 2019. – 465с.
3. *Аганбемян А.Г.* Оптимальный подход в долгосрочном планировании / Долгосрочное планирование и прогнозирование. Под ред. акад. Т.С.Хачатурова. – М.: Прогресс, 1975. – С.299-310.
4. *Цвиркун А.Д.* Основы синтеза структуры сложных систем. – М.: Наука, 1997. – 256с.
5. *Цвиркун А.Д., Акинфиев В.К., Соловьев М.М.* Моделирование развития крупномасштабных систем. – М.: Экономика. 1983. – С.35-38.
6. *Цвиркун А.Д., Акинфиев В.К., Карибский А.В., Яковенко С.Ю.* Управление развитием структур крупномасштабных топливно-энергетических систем. – М.: Институт проблем управления, 1983. – 42с.
7. *Бурков В.Н., Коргин Н.А., Новиков Д.А.* Введение в теорию управления организационными системами / Под ред. Д.А. Новикова. – М.: Либроком, 2009. – 264с.
8. Постановление Правительства РФ от 2 августа 2010 г. № 588 «Об утверждении Порядка разработки, реализации и оценки эффективности государственных программ РФ». <http://base.garant.ru/198991/#ixzz6N3XEwpUp>
9. *Цыганов В.В.* Планирование развития инфраструктуры Сибири, Дальнего Востока и Арктической зоны России / Материалы 12-й межд. конф. «Управление развитием крупномасштабных систем». – М.: ИПУ РАН, 2019. С.163-166.
10. *Цыганов В.В., Бородин В.А., Шишкин Г.Б.* Интеллектуальное предприятие. Теория и практика управления эволюцией организации. – М.: Университетская книга, 2004. – 768с.
11. *Цыганов В.В., Малыгин И.Г., Еналеев А.К., Савушкин С.А.* Большие транспортные системы: теория, методология, разработка и экспертиза. – СПб: ИПТ РАН. 2016. – 216с.
12. *Цыганов В.В.* Основы управления развитием инфраструктуры Сибири, Дальнего Востока и Арктики / ИТНОУ. 2019. № 4 (14). С.49-53.
13. *Косяков А., Свит У. и др.* Системная инженерия. Принципы и практика. – М.: ДМК Пресс. 2014.– 624с.
14. *Белый О. В., Еналеев А. К и др.* Проблемы оптимизации структуры регионального управления движением, инфраструктурой, железнодорожными перевозками / Научное обеспечение инновационного развития и повышения эффективности железнодорожного транспорта. Коллективная монография Объединенного Ученого совета ОАО «РЖД», под ред. Б.М.Лапидуса. – М.: Mittel Press, 2014. – С. 39-55.
15. *Еналеев А.К., Цыганов В.В.* Теоретические основы механизмов управления развитием инфраструктуры Сибири, Дальнего Востока и Арктики / Управление развитием крупномасштабных систем. – М.: ИПУ РАН, 2020 (в печати).
16. *Еналеев А.К., Цыганов В.В.* Комплексное оценивание проектов транспортной инфраструктуры // ИТНОУ. 2019. 4(14). С.17-20.
17. *Еналеев А.К., Цыганов В.В.* Комплекс механизмов управления развитием транспортной инфраструктуры // ИТНОУ. № 2 (16). 2020 (в печати).
18. Указ Президента РФ от 1 декабря 2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации». <http://kremlin.ru/acts/bank/41449>
19. *Цыганов В.В., Савушкин С.А., Бородин В.А.* Транспортные проблемы пространственного развития // ИТНОУ. № 2 (12). 2019. С.62-67.
20. *Савушкин С.А., Цыганов В.В.* Транспортные показатели пространственного развития // Труды 12-го Всероссийского совещания по проблемам управления. – М.: ИПУ РАН, 2019. С.2266-2271.
21. *Цыганов В.В., Савушкин С.А.* Региональные показатели транспортных систем и пространственное развитие // Транспорт: наука, техника, управление. № 7. 2019. С.3-10.

22. Савушкин С.А., Бородин В.А. и др. Мультиmodalные транспортные системы в пространственном развитии // ИТНОУ. 2019. № 4(14). С.34-39.
23. Савушкин С.А., Цыганов В.В. Сценарии раз-я тран-го компл-а макро-на // ИТНОУ. №2 (16).2020(в печати).
24. Гурлев И.В., Бородин В.А., Цыганов В.В. Упр-е разв-ем инфор-но-телеком-ой инфраструктуры Сибири, Дальнего Востока и Арктики // ИТНОУ: Инфор-е технол-и в науке, образ-и и управ-и, № 2, 2019. С.15-19.